

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра математической теории упругости и биомеханики

Разработка системы поддержки здорового сна

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 442 группы

направления 09.03.03 – Прикладная информатика

механико-математического факультета

Баукова Данила Сергеевича

Научный руководитель
доцент, к.ю.н.

Р.В. Амелин

Зав. кафедрой
зав. кафедрой, д.ф.-м.н., профессор

Л.Ю. Коссович

Саратов 2026

Введение. В современном мире нарушения сна стали не только медицинской, но и социальной проблемой. Хронический недосып, нерегулярный график, высокая стрессовая нагрузка и использование экранов перед сном приводят к массовому снижению качества сна, ухудшению когнитивных функций, ослаблению иммунитета и росту риска сердечно-сосудистых заболеваний. По данным клинических рекомендаций (CDC, NHLBI, AASM), для взрослых необходима регулярная продолжительность сна не менее 7 часов и стабильное время отхода ко сну и подъёма, в том числе в выходные дни.

Существующие на рынке цифровые решения — фитнес-трекеры, мобильные приложения-будильники, дневники сна — имеют принципиальные недостатки. Большинство из них ориентированы на автоматический сбор данных с датчиков, используют закрытые алгоритмы рекомендаций, требуют платной подписки или привязки к конкретному вендору. При этом пользователю, который хочет вести осознанное самонаблюдение, получать прозрачные и понятные советы без навязчивой аналитики, такие решения избыточны.

Таким образом, существует разрыв между доказательно эффективными клиническими подходами (регулярность, достаточная длительность, гигиена сна) и доступными массовыми цифровыми инструментами.

Цель работы — разработка и исследование клиент-серверного приложения «Sleep Assistant», обеспечивающего сбор данных о сне через дневник самонаблюдения, прозрачный расчёт персонализированных рекомендаций на основе клинических норм и поддержку режима с помощью локальных уведомлений.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- Изучить факторы, влияющие на режим и качество сна, выполнить сравнительный обзор существующих мобильных приложений для мониторинга сна.
- Сформулировать функциональные и нефункциональные требования к приложению и его рекомендательной системе.
- Спроектировать архитектуру информационной системы, включая серверную часть (FastAPI, PostgreSQL), модуль рекомендаций и клиентскую часть (React Native, Expo).

- Реализовать модуль рекомендаций, корректно обрабатывающий циклическое время суток (круговое среднее) и обеспечивающий плавный сдвиг режима к целевому графику 23:00–07:00.
- Реализовать клиентское приложение с экранами дневника, профиля, рекомендаций и локальными уведомлениями, привязанными к часовому поясу устройства.
- Провести тестирование системы, проверить корректность вычислений временных характеристик сна и работу сценариев.

Новизна работы заключается в открытой, документированной реализации рекомендательного алгоритма, использующего круговую статистику для усреднения времени засыпания и подъёма, что устраняет известную ошибку «среднее между 23:00 и 01:00 равно полудню». В отличие от коммерческих трекеров, все формулы расчёта (циркадное среднее, плавный сдвиг с шагом 15 минут, оценка вариабельности) явно представлены в работе и могут быть проверены пользователем.

Практическая значимость состоит в создании бесплатного, кроссплатформенного инструмента самопомощи, который помогает пользователю постепенно нормализовать режим сна без резких изменений, а также в реализации локальных уведомлений с учётом IANA-часового пояса, что обеспечивает корректную работу напоминаний независимо от геолокации.

Структура и объём работы. Работа состоит из введения, трёх основных разделов, заключения, списка литературы (21 наименование). Общий объём текста составляет 43 страницы.

Первый раздел «Анализ предметной области» В первом разделе подробно рассматриваются физиологические основы сна, включая циклическую смену медленной и быстрой фаз, роль циркадных ритмов, продукцию мелатонина, влияние внешних факторов, таких как освещённость, температура, режим питания и физическая активность. Отдельное внимание уделяется факторам, ухудшающим сон в современном мире: ускоренный ритм жизни, психоэмоциональное напряжение, работа или учёба в вечернее время, бесконечный поток стимулов от социальных сетей и мессенджеров, яркий свет экранов, подавляющий выработку мелатонина, нерегулярный режим с большими сдвигами на выходных — так называемый социальный джетлаг.

Показано, что даже при достаточной суммарной длительности сна нерегулярность графика разрушает внутреннюю синхронизацию организма, проявляясь утренней разбитостью и дневной сонливостью.

Далее проводится обзор существующих цифровых решений для мониторинга и коррекции сна. Анализируются функциональные возможности популярных приложений, таких как Sleep as Android, Pillow, Samsung Health, встроенные трекеры Apple и Google. Выделяются их сильные стороны: богатая аналитика, интеграция с носимыми устройствами, готовые сценарии гигиены сна, визуализированные отчёты за неделю и месяц. Однако выявляются и существенные ограничения. Правила формирования рекомендаций в коммерческих продуктах закрыты, пользователь не может проверить, на основании каких расчётов получен тот или иной совет. Многие расширенные функции доступны только по платной подписке, а интеграция с конкретными брендами часов привязывает пользователя к вендору. Кроме того, автоматический трекинг движений через акселерометр требует, чтобы смартфон или часы находились рядом с пользователем всю ночь, что не всегда удобно и не заменяет осознанного ввода режима, если человек не носит гаджет во время сна.

На основе проведённого анализа формулируются требования к собственному приложению Sleep Assistant. Ключевая идея состоит в том, чтобы спроектировать прозрачное приложение с открытым серверным алгоритмом, явной опорой на клинические рекомендации и компактным набором функций: регистрация и аутентификация пользователей, ведение дневника сна с фиксацией времени засыпания и подъёма, уровня стресса и коротких заметок, отображение персонализированных рекомендаций на главном экране, профиль с привычками и временем будильника, а также локальные напоминания о внесении распорядка, подготовке ко сну и утреннем подъёме. Рекомендации должны формироваться на сервере по последним тридцати записям дневника, что позволяет показать формулы расчёта и прямую связь между введёнными данными и текстом совета на экране. Важным нефункциональным требованием является согласованность часовых поясов между клиентом, сервером и планировщиком операционной системы, чтобы напоминание за час до сна не смещалось относительно реального времени пользователя.

Второй раздел «Проектирование информационной системы»

Второй раздел целиком посвящён проектированию информационной системы. Представлена общая архитектура, построенная по классическому клиент-серверному принципу. Серверная часть реализована на языке Python с использованием асинхронного веб-фреймворка FastAPI, который обеспечивает высокую производительность, автоматическую генерацию документации OpenAPI и удобную валидацию входных данных через Pydantic. В качестве системы управления базами данных выбрана реляционная СУБД PostgreSQL, в которой созданы две основные таблицы: users, хранящая учётные записи, хеши паролей, привычное время сна, будильник и текстовое описание привычек, а также sleep_entries, содержащая записи дневника сна с полями даты, времени засыпания и подъёма, уровня стресса и заметок. Связь между таблицами организована по принципу один пользователь ко многим ночам; при удалении пользователя его записи дневника автоматически удаляются каскадно. Индексы по полям user_id и sleep_date ускоряют выборку последних записей для рекомендательного алгоритма.

Далее в разделе детально, с выводом всех математических формул, описывается модуль рекомендаций. Вводётся представление времени в минутах от полуночи: $t = 60h + m$, где h — часы, m — минуты, что даёт целочисленное значение от 0 до 1439. Для каждой записи дневника вычисляется длительность сна с учётом возможного перехода через полночь: если время подъёма t_w меньше или равно времени засыпания t_b , к t_w прибавляется 1440 минут, после чего длительность в часах получается как $D = (t'_w - t_b)/60$. Затем для набора из не более чем тридцати последних записей вычисляется средняя длительность, которая сравнивается с клиническим референсным интервалом семь–девять часов. При средней длительности менее семи часов формируется совет увеличить время в постели, при более девяти часов — рекомендация обратиться к специалисту.

Центральным элементом модуля является круговое среднее для времени засыпания и подъёма, которое устраняет ошибку обычного арифметического среднего на циклической шкале суток. Каждое значение времени в минутах переводится в угол на окружности: $\theta_i = 2\pi t_i/1440$. Вычисляются средние проекции синуса и косинуса: $\bar{s} = \frac{1}{n} \sum \sin \theta_i$, $\bar{c} = \frac{1}{n} \sum \cos \theta_i$. Средний угол

находится через функцию atan2: $\bar{\theta} = \text{atan2}(\bar{s}, \bar{c})$, при отрицательном значении добавляется 2π . Итоговое среднее время в минутах получается как $\bar{t} = \text{round}(\bar{\theta}/(2\pi) \cdot 1440) \bmod 1440$. Отдельно вычисляются \bar{t}_{bed} для времени засыпания и \bar{t}_{wake} для времени подъёма. Эти величины отображаются в блоке текущего паттерна ответа API.

Для оценки стабильности режима вычисляются стандартные отклонения минут засыпания и подъёма, а затем их среднее арифметическое $V = \text{round}((\sigma_{\text{bed}} + \sigma_{\text{wake}})/2)$. Если $V \geq 45$ минут, что соответствует практическому порогу социального джетлага, в список рекомендаций добавляется совет использовать один и тот же будильник в будни и выходные, чтобы уменьшить разброс времени подъёма. Целевой режим приложения задан как время засыпания в 23:00 $T_b = 1380$ минут и подъём в 07:00 $T_w = 420$ минут, что даёт длительность восемь часов. Хотя клинические руководства не предписывают всем взрослым ложиться именно в это время, данный интервал выбран как практический эталон в пределах рекомендованной длительности и для наглядности интерфейса.

Для сравнения текущего среднего времени засыпания с целевым вводится кратчайшая разность по окружности суток: $\Delta(t, T) = T - t$, с последующей нормализацией: если $\Delta > 720$, вычитается 1440, если $\Delta < -720$, прибавляется 1440. Таким образом, Δ лежит в интервале от минус 720 до 720 минут и показывает, на сколько минут нужно сдвинуть режим по кратчайшему пути. Функция плавного сдвига $\text{step_toward}(t, T, S)$ с максимальным шагом $S = 15$ минут работает следующим образом: вычисляется Δ ; если $|\Delta| \leq S$, возвращается целевое время T — цель достигнута; иначе возвращается $t + \text{sign}(\Delta) \cdot S$ с приведением по модулю 1440. Предлагаемое следующее время засыпания и подъёма t_{bed}^* и t_{wake}^* передаются клиенту в поле `suggested_next` и отображаются в блоке Расписание на главном экране.

Логика формирования текстовых рекомендаций представляет собой набор правил, последовательно проверяемых после численных расчётов. Если оба отклонения $|\Delta(t_{\text{bed}}, T_b)|$ и $|\Delta(t_{\text{wake}}, T_w)|$ не превышают десяти минут, выдаётся положительная рекомендация о близости к целевому режиму и совет держать график в выходные. В противном случае при положительном отклонении засыпания более чем на десять минут сообщается о слишком позднем среднем

засыпании, при отрицательном — о более раннем, чем целевое. Аналогично для подъёма. При вариабельности $V \geq 45$ добавляется совет стабилизировать будильник. Отдельно обрабатываются случаи слишком малой или слишком большой средней длительности сна. Если записей в дневнике нет, возвращается приглашение добавить несколько ночей. Каждый ответ API содержит также поле `medical_basis` с кратким обоснованием и ссылками на источники, а также дисклеймер о том, что рекомендации носят информационный характер и не заменяют консультацию врача.

В разделе также описывается архитектура клиентской части. Мобильное приложение реализовано на React Native с платформой Expo SDK 51, что позволяет из одной кодовой базы собирать приложения для Android и iOS. Навигация между экранами построена на изменении состояния корневого компонента без использования системного стека навигации для упрощения. Основные экраны: стартовый экран с выбором входа или регистрации, форма аутентификации, главный экран с блоками Расписание и Рекомендации по сну, форма добавления и редактирования записей дневника, экран профиля, где отображаются часовой пояс устройства, текущее локальное время, привычки и время будильника, а также экран для внесения результатов медицинских анализов. Все взаимодействия с сервером выполняются по HTTP с использованием JWT-токена, получаемого при входе. Локальные уведомления реализованы средствами пакета expo-notifications, что позволяет планировать показ уведомлений операционной системой без необходимости в постоянном соединении с сервером.

Третий раздел «Реализация и тестирование» Третий раздел содержит описание непосредственной реализации всех компонентов системы и результаты тестирования. Приводятся ключевые фрагменты программного кода серверной части на Python. Функция `parse_time_to_minutes` преобразует строку времени формата ЧЧ:ММ в целое число минут от полуночи, а обратная функция `minutes_to_time` выполняет противоположное преобразование. Функция `sleep_duration_hours` вычисляет длительность сна с учётом перехода через полночь, прибавляя 1440 минут к времени подъёма, если оно меньше или равно времени засыпания. Центральной является функция `circular_mean_minutes`, которая реализует круговое усреднение

через перевод времени в углы, суммирование синусов и косинусов и вызов `atan2`. Функция `step_toward` реализует плавный сдвиг с ограничением шага пятнадцатью минутами. Все эти функции вызываются из главной функции `build_recommendations`, которая принимает список записей дневника, извлекает минуты засыпания и подъёма, при необходимости ограничивает выборку последними тридцатью записями, вычисляет круговые средние, вариабельность, среднюю длительность, формирует предлагаемое расписание и текстовые советы, после чего возвращает структурированный JSON-ответ.

В разделе также показана работа роутеров FastAPI. Например, эндпоинт `/recommendations` принимает запрос, извлекает текущего пользователя из JWT-токена, выполняет SQL-запрос для выборки не более тридцати последних записей дневника, упорядоченных по убыванию даты сна, передаёт эти записи в функцию `build_recommendations` и возвращает результат. Роутер для создания записей дневника принимает JSON с полями даты, времени засыпания и подъёма, стресса и заметок, выполняет вставку в таблицу `sleep_entries` с привязкой к идентификатору текущего пользователя и возвращает идентификатор созданной записи. Аутентификация реализована через JWT: при успешном входе сервер проверяет `bcrypt`-хеш пароля в базе данных и генерирует токен с полями `sub` идентификатор пользователя, `login` и временем истечения. На защищённых маршрутах зависимость извлекает токен из заголовка `Authorization`, проверяет его подпись с помощью секретного ключа и срок действия, после чего восстанавливает идентификатор и логин пользователя.

Далее в разделе приводятся примеры работы модуля рекомендаций для различных сценариев. При пустом дневнике API возвращает `entries_analyzed` равное нулю, поле `current_pattern` содержит значения по умолчанию или отсутствует, а `recommended_next` совпадает с целевым режимом 23:00–07:00, и текстовый совет предлагает добавить несколько ночей для расчёта персональных средних. Для пользователя со стабильным графиком, когда среднее время засыпания близко к 23:00, а подъёма к 07:00, средняя длительность около восьми часов и вариабельность мала, формируется положительная рекомендация о соответствии показателей норме с советом продолжать в том же духе и держать будильник на выходных. Для пользователя с поздним ре-

жимом, например, среднее засыпание в 00:30, целевое засыпание в 23:00, разность составляет минус девяносто минут. Функция плавного сдвига за один расчёт уменьшит это отклонение на пятнадцать минут, предложив время отхода ко сну 00:15, и в тексте совета будет указано, что среднее засыпание слишком позднее с конкретным значением и предложение сдвигать его постепенно. Для пользователя с высокой вариабельностью, когда стандартные отклонения засыпания и подъёма дают V более 45 минут, в список рекомендаций добавляется отдельный совет об использовании стабильного будильника, в том числе в выходные дни.

Большое внимание в разделе уделено клиентской части и локальным уведомлениям. Приводятся иллюстрации экранов приложения: стартовый экран с кнопками Вход и Регистрация, форма аутентификации с полями логина и пароля, главный экран, на котором в блоке Расписание отображаются среднее время засыпания, подъёма и длительность, целевой режим и предлагаемое расписание после плавного сдвига, а в блоке Рекомендации по сну — текстовые советы, краткое медицинское обоснование и ссылки на источники. Также показаны форма добавления записи в дневник, где подставляются локальная дата устройства и предлагаемое расписание, и экран профиля, отображающий часовой пояс, текущее локальное время, привычки и время будильника.

Локальные уведомления реализованы модулем `deviceTime.js`, который считывает IANA-идентификатор часового пояса через `expo-localization` и предоставляет функции `getLocalDateTimeString` и `getLocalTimeString` для форматирования даты и времени с учётом часового пояса устройства. Принцип планирования напоминаний следующий. После входа клиент загружает профиль и рекомендации. В запросе к API передаётся часовой пояс в заголовке `X-Device-Timezone`, сервер возвращает поле `local_now` и предлагаемое расписание `suggested_next`. Запланированный отход ко сну для уведомления определяется по правилу: если в профиле заполнено `usual_bedtime`, используется оно, иначе — время засыпания из `suggested_next`. Аналогично для подъёма: приоритет у `alarm_time`, затем у `usual_wake_time`. Далее рассчитываются моменты активации в локальной шкале устройства: напоминание Успейте внести распорядок ежедневно около 20:00, если за текущие кален-

дарные сутки ещё нет записи в дневнике; напоминание Подготовка ко сну за 45–60 минут до запланированного отхода; Будильник в момент времени, заданный `alarm_time` или `usual_wake_time`. Уведомления сопровождаются системным звуком и отображаются в панели уведомлений Android через специальный канал `sleep-reminders`. Такой подход обеспечивает привязку напоминаний к настенным часам пользователя, а не к фиксированному UTC, что критически важно при смене часового пояса или переходе на летнее время.

Тестирование разработанного программного комплекса проводилось на трёх уровнях. На уровне интерактивной документации FastAPI осуществлялась верификация контрактов API без задействования пользовательского интерфейса. С помощью эмулятора Android под управлением среды Expo Go выполнялось сквозное тестирование сценариев взаимодействия, включая регистрацию, вход, создание записей дневника, загрузку рекомендаций, обновление профиля и срабатывание локальных уведомлений. Также проводилась ручная сверка SQL-выборок из базы данных с фактическими ответами API. Для проверки рекомендательного алгоритма использовались учётные записи с различными паттернами сна: стабильный режим, поздние отходы ко сну, высокая вариабельность графика и пустой дневник. Контролировалось, что предлагаемое расписание смещается к целевому времени 23:00–07:00 не более чем на пятнадцать минут за один расчёт, средняя длительность сна попадает в ожидаемый диапазон, а тексты советов на экране соответствуют данным дневника в базе данных. При типичной нагрузке время ответа эндпоинта `/recommendations` составляет от ста до трёхсот миллисекунд, что укладывается в требования к отзывчивости мобильного приложения. Все функциональные сценарии, включая обработку неверного JWT-токена возвратом ошибки 401, изоляцию данных между разными пользователями, корректный расчёт круговых средних и срабатывание уведомлений на эмуляторе, дали ожидаемые результаты.

Заключение. В ходе выполнения дипломной работы была достигнута поставленная цель: разработано и исследовано клиент-серверное приложение Sleep Assistant, проверена корректность вычисления временных характеристик сна.

Основные результаты:

- Проведён анализ предметной области и выявлены ключевые требования к системе.
- Спроектирована и реализована серверная часть на FastAPI с модулем рекомендаций, использующим круговую статистику и плавный сдвиг режима.
- Разработан кроссплатформенный клиент на React Native (Expo) с экранами дневника, профиля и рекомендаций.
- Реализованы локальные уведомления, привязанные к часовому поясу устройства и персональному расписанию.
- Выполнено тестирование, подтвердившее корректность расчётов (устранена ошибка арифметического среднего для ночных интервалов) и работу всех функциональных сценариев.

Практическая значимость работы заключается в создании открытого, прозрачного инструмента для самоконтроля сна, который может быть развёрнут как в локальной сети, так и в облаке, а также опубликован в магазинах приложений.

Перспективы развития Дальнейшее развитие системы включает: развёртывание в Интернете с TLS, публикацию клиента в Google Play и App Store, добавление серверных push-уведомлений, графиков сна за неделю и месяц, учёт лабораторных анализов и настраиваемого целевого окна сна, а также интеграцию с носимыми устройствами при сохранении прозрачности расчётов.